

УДК 621.396.96:621.391.8

И.Г. Леонов<sup>1</sup>, А.Н. Коржов<sup>1</sup>, В.Н. Петрушенко<sup>2</sup>, Р.М. Животовський<sup>3</sup><sup>1</sup> Харківський університет Воздушних Сил імені Івана Кожедуба<sup>2</sup> Воїнська частина А3009<sup>3</sup> Центральний НІІІ озброєння і військової техніки Збройних Сил України, Київ**МЕТОДИКА СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА МНОГОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ**

*Предложена методика сравнительного анализа многочастотных сигналов и показано, что при количестве частотных составляющих больше семи многочастотные линейно частотно-модулированные сигналы мало отличаются от эталонного линейно частотно-модулированного сигнала и могут быть использованы для решения задач распознавания по дальностным радиолокационным портретам.*

**Ключевые слова:** сложные сигналы, многочастотные сигналы, методика сравнительного анализа, распознавание целей.

**Введение**

**Постановка проблемы.** В условиях массированного налета с применением всего арсенала средств радиоэлектронной борьбы актуальной является задача выявления наиболее опасных целей. Эта задача может быть решена с использованием распознавания целей по их дальностным радиолокационным портретам [1, 3].

Как известно, информативность радиолокационных станций определяется базой зондирующих сигналов  $B$ , большие значения которой имеют наряду с традиционными ЛЧМ и ФКМ сигналами различные виды составных сигналов, в частности многочастотные (МЧ) сигналы [1].

Довольно часто возникает проблема сравнения сигналов по тому или другому критерию. Например, в качестве критерия сравнения сигналов может быть использована релейская разрешающая способность в координатах дальность-скорость [1, 6]. Сравнительный анализ по выбранному критерию предполагает выработку такой методики сравнения, которая бы обеспечила наглядность и доступность полученных результатов.

Обычно сравнительный анализ сигналов проводят относительно какого-нибудь базового (эталонного) сигнала, который, в свою очередь, минимизирует выбранный за критерий сравнения параметр.

Как известно, наилучшей релейской разрешающей способностью по времени и частоте обладает сигнал, у которого модуль комплексной огибающей в пределах заданной длительности и амплитудно-частотный спектр в пределах требуемой полосы частот являются равномерными [1, 2, 4]. Этим условиям отвечает ЛЧМ сигнал с прямоугольной огибающей при базе  $B \geq 20$ . Следовательно, с точки зрения таких параметров как постоянные разрешения времени и частоты Вудварда  $T_R(0)$  и  $F_R(0)$ , пря-

моугольный ЛЧМ импульс с  $B \geq 20$  аппроксимирует оптимальный ограниченный по полосе сигнал для решения задач распознавания [1, 4]. Определенными преимуществами в РЛС распознавания с изменяемыми параметрами обладают многочастотные сигналы [2, 3, 5].

Поэтому оценку многочастотных сигналов в целях их возможного использования в радиолокационных станциях с режимом распознавания по дальностным радиолокационным портретам проведем относительно эталонного (базового) ЛЧМ сигнала.

**Цель статьи:** предложить методику сравнительного анализа многочастотных сигналов.

**Основная часть**

Обычно разрешающая способность сигналов оценивается интегральной разрешающей способностью по времени и частоте (постоянные разрешения времени и частоты Вудварда  $T_R(0)$  и  $F_R(0)$ ) и коэффициентом использования энергии сигнала  $K_{исп}$  или дифференциальной разрешающей способностью, в качестве которой используют оценку ширины центрального пика и уровня боковых лепестков автокорреляционной функции сигнала. Поэтому, в качестве количественных характеристик примем:

– относительное приращение постоянной разрешения времени:

$$\eta_T = \frac{T_R(0)_{МЧ} - T_R(0)_{Э}}{T_R(0)_{Э}} = \frac{\Delta T_R(0)}{T_R(0)_{Э}},$$

где  $T_R(0)_{МЧ}$ ,  $T_R(0)_{Э}$  – постоянные разрешения времени МЧ и эталонного ЛЧМ сигналов соответственно;

– относительное приращение постоянной разрешения частоты:

$$\eta_F = \frac{F_R(0)_{МЧ} - F_R(0)_{Э}}{F_R(0)_{Э}} = \frac{\Delta F_R(0)}{F_R(0)_{Э}},$$

где  $F_R(0)_{\text{МЧ}}$ ,  $F_R(0)_{\text{Э}}$  – постоянные разрешения частоты МЧ и эталонного ЛЧМ сигналов соответственно;  
– относительное приращение коэффициента использования энергии:

$$\eta_{\text{исп}} = \frac{K_{\text{испМЧ}} - K_{\text{испЭ}}}{K_{\text{испЭ}}} = \frac{\Delta K_{\text{исп}}}{K_{\text{испЭ}}},$$

где  $K_{\text{испМЧ}}$ ,  $K_{\text{испЭ}}$  – коэффициент использования энергии МЧ и эталонного ЛЧМ сигналов соответственно;

– относительное приращение длительности центрального пика автокорреляционной функции:

$$\eta_{\tau} = \frac{\tau_{\text{сжМЧ}} - \tau_{\text{сжЭ}}}{\tau_{\text{сжЭ}}} = \frac{\Delta \tau_{\text{сж}}}{\tau_{\text{сжЭ}}},$$

где  $\tau_{\text{сжМЧ}}$ ,  $\tau_{\text{сжЭ}}$  – длительность центрального пика АКФ МЧ и эталонного ЛЧМ сигналов соответственно;

– относительное приращение уровня боковых лепестков автокорреляционной функции:

$$\eta_{\text{бл}} = \frac{U_{\text{блМЧ}} - U_{\text{блЭ}}}{U_{\text{блЭ}}} = \frac{\Delta U_{\text{бл}}}{U_{\text{блЭ}}},$$

где  $U_{\text{блМЧ}}$ ,  $U_{\text{блЭ}}$  – уровень боковых лепестков АКФ МЧ и эталонного ЛЧМ сигналов соответственно.

В целях получения достоверных количественных оценок эталонный ЛЧМ сигнал необходимо рассматривать с единых со сравниваемыми МЧ сигналами позиций. Это возможно при использовании для описания эталонного ЛЧМ сигнала тех же параметров, что и для МЧ сигналов, а также сравнивая сигналы равной длительности и занимающие равные полосы.

Комплексная огибающая эталонного ЛЧМ сигнала для  $|t| \leq \tau_c/2$  может быть записана [1, 3, 6, 7]:

$$\dot{U}_{\text{э}}(t) = 1(t) \cdot e^{j\pi b_3 t^2},$$

где  $b_3 = \Delta f_3 / \tau_3$  – скорость изменения частоты эталонного ЛЧМ сигнала.

Так как полоса занимаемых частот МЧ сигналов зависит от  $N$ , а длительность от  $K$ , где  $N$  и  $K$  целые числа. Тогда МЧ сигнал состоит из  $2N+1$  одновременно существующих частотных составляющих, в качестве которых используются простые радиоимпульсы длительностью  $\tau_c = KT$ , где  $T$  – период однозначности, который определяется сдвижкой по частоте между соседними частотными составляющими МЧ сигналов ( $\Delta F = 1/T$ ). В этом случае и  $b_3$  должна выражаться как функция  $N$  и  $K$ . Задавшись  $\Delta f_3 = (2N+1)/T$ , а  $\tau_3 = KT$ , получим

$$b_3 = (2N+1)/KT^2.$$

Тогда комплексная огибающая эталонного ЛЧМ сигнала для  $|t| \leq KT/2$  примет вид:

$$\dot{U}_{\text{э}}(t) = 1(t) \cdot e^{j\pi(2N+1)t^2/KT^2}.$$

Автокорреляционная функция и частотная корреляционная функция для принятых допущений эталонного сигнала имеет вид:

$$R_{\text{э}}(\tau, 0) = KT \left(1 - \frac{|\tau|}{KT}\right) \frac{\sin \left[ \pi(2N+1) \tau/T \left(1 - \frac{|\tau|}{KT}\right) \right]}{\pi(2N+1) \tau/T \left(1 - \frac{|\tau|}{KT}\right)},$$

$$R_{\text{э}}(0, F) = KT \frac{\sin \pi KFT}{\pi KFT}.$$

Автокорреляционная функция и частотная корреляционная функция сравниваемого многочастотного сигнала имеет вид:

$$R(\tau, 0) = KT \left(1 - \frac{|\tau|}{KT}\right) \frac{\sin \left[ \pi \tau/T (1 - |\tau|/(KT)) \right]}{\pi \tau/T (1 - |\tau|/(KT))} \times$$

$$\times \sum_{\gamma, \mu=-N}^N \underline{A}(\gamma) A^*(\mu) \cdot e^{j2\pi\gamma\tau/T},$$

$$R(0, F) =$$

$$= KT \sum_{\gamma, \mu=-N}^N \underline{A}(\gamma) A^*(\mu) \frac{\sin \left[ \pi K (FT + \gamma - \mu) \right]}{\pi K (FT + \gamma - \mu)},$$

где  $A(\gamma)$  и  $A(\mu)$  – весовые функции, определяющие соотношение амплитуд пиков автокорреляционной и частотной корреляционной функций.

Покажем использование предложенной методики для МЧ ЛЧМ сигнала со сплошным амплитудно-частотным спектром ( $\Delta f_0 = 1/T$  – девиация парциальной составляющей многочастотного сигнала) в зависимости от  $N$  и  $K$ .

Результаты исследований приведены на рис. 1.

Таким образом, проведенный сравнительный анализ, показывает, что при увеличении числа частотных составляющих МЧ ЛЧМ сигнала относительное приращение постоянной разрешения времени асимптотически стремится к нулю и уже при пяти частотных составляющих ( $N = 2$ )  $\eta_T < 0,1$ .

Относительное приращение постоянной разрешения частоты МЧ ЛЧМ сигнала асимптотически стремится к нулю при увеличении длительности сигнала и при  $K > 5$   $\eta_F < 0,1$ .

Относительное приращение коэффициента использования энергии  $\eta_{\text{исп}} < 0,1$  уже при  $N > 1$ .

Относительное приращение длительности центрального пика автокорреляционной функции зависит от  $N$  и уже при  $N \geq 1$   $\eta_{\tau} < 0,1$ .

Относительное приращение уровня ближних боковых лепестков автокорреляционной функции  $\eta_{\text{бл}} < 0,1$  уже при  $N \geq 1$ , а дальние боковые лепестки (кратные  $T$ ) уменьшаются при уменьшении  $K$  и слабо зависят от  $N$ .

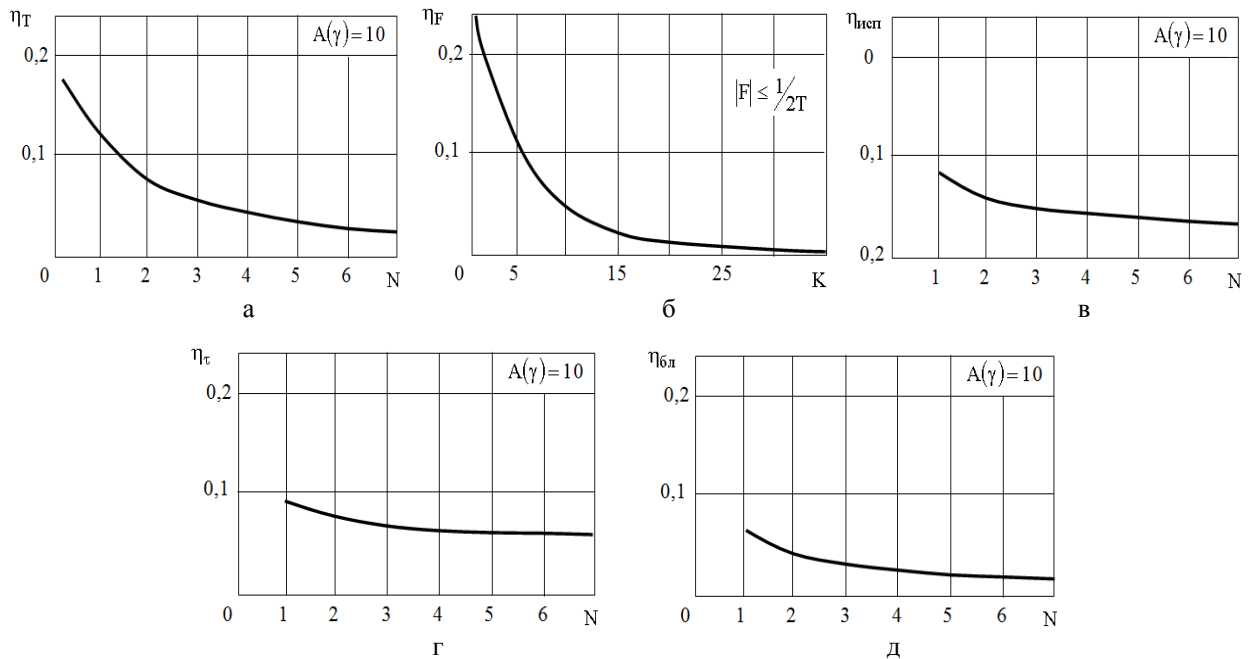


Рис. 1. Относительные приращения: а – постоянной разрешения времени; б – постоянной разрешения частоты; в – коэффициента использования энергии; г – длительности центрального пика автокорреляционной функции; д – уровня боковых лепестков автокорреляционной функции

### Выводы

Таким образом, в статье предложена методика сравнительного анализа многочастотных сигналов и показано, что при количестве частотных составляющих больше семи МЧ ЛЧМ сигналы мало отличаются от эталонного ЛЧМ сигнала и могут быть использованы для решения задач распознавания по дальностным радиолокационным портретам.

### Список литературы

1. Кук Ч. Радиолокационные сигналы. Теория и применение / Ч. Кук, М. Бернфельд. Пер. с англ. под ред. В.С. Кельзона. – М.: Сов. радио, 1971. – 568 с.
2. Справочник по радиолокации. / Под ред. М. Скольникова. Нью-Йорк, 1970. Перевод с англ. (в четырех томах) / Под общей ред. К.Н. Трофимова. // – М.: Сов. радио. Т1 – 1976. – 456 с.; Т2 – 1977. – 408 с.; Т3 – 1979. – 528 с.; Т4 – 1978. – 376 с.

3. Радиоэлектронные системы: справ. / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 510 с.
4. Вудворд Ф.М. Теория вероятностей и теория информации с применениями в радиолокации / Ф.М. Вудворд. Пер. с англ. под ред. Г.С. Горелика. – М.: Сов. радио, 1955. – 128 с.
5. Вопросы статистической теории радиолокации / П.А. Бакут, И.А. Большаков, Б.М. Герасимов и др., – М.: Сов. радио. – Т1 – 1963. – 424 с., –Т2 – 1964. 1079 с.
6. Вакман Д.Е. Сложные сигналы и принцип неопределенности в радиолокации / Д.Е. Вакман. – М.: Сов. радио, 1965. – 304 с.
7. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях / Ж. Макс. Пер. с франц. под ред. Н.Г. Волкова. – М.: Мир, 1983. – Т1 – 312 с., Т2 – 256 с.

Поступила в редколлегию 15.04.2013

**Рецензент:** д-р. техн. наук, проф. В.Д. Карлов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### МЕТОДИКА ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ БАГАТОЧАСТОТНИХ СИГНАЛІВ

І.Г. Леонов, А.Н. Коржов, В.М. Петрушенко, Р.М. Жіवотовський

Запропонована методика порівняльного аналізу багаточастотних сигналів і показано, що при кількості частотних складових більше семи багаточастотні лінійно частотно-модульовані сигнали мало відрізняються від еталонного лінійно частотно-модульованого сигналу і можуть бути використані для вирішення завдань розпізнавання по дальностним радіолокаційним портретам.

**Ключові слова:** складні сигнали, багаточастотні сигнали, методика порівняльного аналізу, розпізнавання цілей.

### METHOD OF COMPARATIVE ANALYSIS OF MULTIFREQUENCY SIGNALS

I.G. Leonov, A.N. Korzhov, V.N. Petrusenko, R.M. Zhivotovskiy

The method of comparative analysis of multifrequency signals is offered and it is rotined that at the amount of frequency constituents more than seven multifrequency arcwise frequency-modulated signals little differ from a standard arcwise frequency-modulated signal and can be utilized for the decision of tasks of recognition on дальностным to the radio-location portraits.

**Keywords:** difficult signals, multifrequency signals, method of comparative analysis, recognition of aims.